



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Off nlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 58 355 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 31/00**

②1 Aktenzeichen: 197 58 355.5  
②2 Anmeldetag: 22. 12. 97  
④3 Offenlegungstag: 6. 8. 98

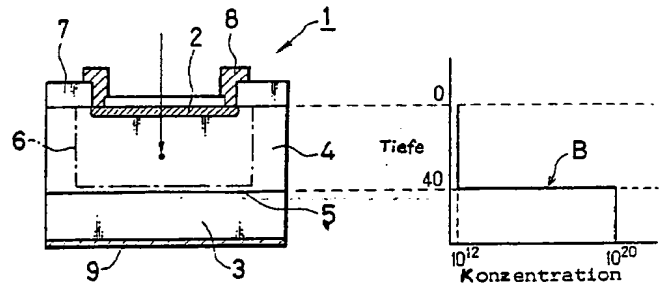
DE 197 58 355 A 1

③0 Unionspriorität:  
8-341,773 20. 12. 96 JP  
⑦1 Anmelder:  
Stanley Electric Co. Ltd., Tokio/Tokyo, JP  
⑦4 Vertreter:  
Dipl.-Phys. U. Twelmeier + Dr.techn. W. Leitner,  
75172 Pforzheim

⑦2 Erfinder:  
Ehara, Toshihiro, Hadano, Kanagawa, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- ⑤4 PIN-Photodiode  
⑤7 PIN-Photodiode mit einer P-Typ-Schicht (2), einer N-Typ-Schicht (3) und einer I-Typ-Schicht (4), die zwischen der P- und der N-Typ-Schicht angeordnet ist, in welcher zwischen der I-Typ-Schicht (4) und der N-Typ-Schicht (3) eine Verbindungsfläche (5) dadurch gebildet ist, daß als I-Typ-Schicht (4) ein vorgefertigter, hochohmiger Wafer mit einem vorgefertigten, stark angereicherten N-Typ-Wafer verbunden ist, welcher als N-Typ-Schicht (3) dient.



DE 197 58 355 A 1

## Hintergrund der Erfindung

## 1. Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung befaßt sich mit einer PIN-Photodiode, die in der optischen Kommunikation als Empfangselement zur Umwandlung einer Lichtwelle in ein elektrisches Signal dient. Insbesondere geht es um die Verbesserung von Kennlinien wie des Frequenzganges oder der Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

## 2. Stand der Technik

Beispiele bekannter PIN-Photodioden sind in den Fig. 4 und 7 gezeigt. Eine stark angereicherte N-Typ-Schicht (N<sup>+</sup>-Schicht) **91** in einer PIN-Photodiode **90**, die in Fig. 4 (A) gezeigt ist, ist durch von einer Oberfläche eines Silikon-Wafer **92a** mit hohem spezifischem Widerstand ausgehende Diffusion hergestellt. Die Dicke des als I-Typ-Schicht **92** übriggelassenen Teils, wird durch Steuerung der Diffusion bestimmt. Desweiteren ist eine stark angereicherte P-Typ-Schicht (eine P<sup>+</sup>-Schicht) **93** durch Diffusion hergestellt, die von der der N-Typ-Schicht **91** gegenüberliegenden Oberfläche ausgeht, wodurch der Grundaufbau einer PIN-Photodiode **90** gebildet wird. (In der P-Schicht herrscht Löcherleitung, in der N-Schicht Elektronenleitung und in der I-Schicht Eigenleitung vor.)

Weil die stark angereicherte N-Typ-Schicht (eine N<sup>+</sup>-Schicht) **91**, wie beschrieben, durch Diffusion hergestellt wird, diffundieren einige N<sup>+</sup>-Ladungsträger (im weiteren als "N-Ladungsträger" bezeichnet) in die I-Typ-Schicht **92**. Die Konzentrationsverteilung B1 der N-Ladungsträger in der N-Typ-Schicht **91** und der I-Typ-Schicht **92** haben, wie in Fig. 4(B) gezeigt, einen mäßigen Abfall. Man erhält dadurch eine schmale Sperrschicht (**94**), aber keine scharfe Grenzfläche **95** zwischen der N-Typ-Schicht **91** und der I-Typ-Schicht **92**.

Eine I-Typ-Schicht **82** einer in Fig. 7(A) gezeigte PIN-Photodiode **80** ist durch epitaktisches Aufwachsen auf eine Oberfläche eines stark angereicherten N-Typ-Wafer **81 A**, wie in Fig. 8 gezeigt, hergestellt. Bei dieser bekannten Technik wird die Dicke der I-Typ-Schicht **82** beispielsweise durch die zeitliche Steuerung des epitaktischen Aufwachsens eingestellt. Auf die gleiche Weise wird auch eine P-Typ-Schicht **83** hergestellt.

Dadurch, daß die I-Typ-Schicht **82** durch epitaktisches Aufwachsen auf die vorgefertigte N-Typ-Schicht (die N<sup>+</sup>-Schicht) **81** hergestellt wird, ist es möglich, die I-Typ-Schicht **82** so herzustellen, daß sie nicht so viele N-Ladungsträger enthält. Die Konzentrationsverteilung B2 der N-Ladungsträger in der N-Typ-Schicht **81** und in der I-Typ-Schicht **82** ist wie in Fig. 7(B) gezeigt, stufenförmig ausgebildet. Dies bedeutet, daß man eine im wesentlichen bis zur Grenzfläche **85** zwischen der N-Typ-Schicht **81** und der I-Typ-Schicht **82** reichende Sperrschicht **84** erhält.

Die PIN-Photodioden **80** und **90** haben folgende Nachteile: Die PIN-Photodiode **90** hat zwar den Vorteil, daß die Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge leicht durch die einfach zu kontrollierende Dicke der I-Typ-Schicht **92** festgelegt werden kann. Allerdings tritt das Problem auf, daß sie für eine optische Kommunikation nicht verwendet werden kann, da aufgrund der schmalen Sperrschicht **94** der Grenzwert des Ansprechfrequenzganges F1, wie in der Fig. 6 dargestellt, bei höchstens 10 MHz liegt.

Was die Photodiode **80** betrifft, so reicht die Sperrschicht **84** im wesentlichen bis an die Grenzfläche **85** zwischen der

N-Typ-Schicht **81** und der I-Typ-Schicht **82**, und dadurch kann ein Ansprechfrequenzgang F2 erreicht werden, der wie in Fig. 9 gezeigt, bis in die Gegend von 200 MHz heraufreicht. Jedoch ist es praktisch unmöglich, eine dicke I-Typ-Schicht mit einer Dicke von beispielsweise mindestens 30 µm (bevorzugt sind mindestens 40 µm) durch epitaktisches Aufwachsen herzustellen, wodurch der Spitzenwert der spektralen Empfindlichkeit (d.i. die von der Wellenlänge abhängige Empfindlichkeit) zum kurzwelligen Ende verschoben wird. Dadurch ergibt sich das Problem, daß der Spitzenwert der Empfindlichkeit nicht an die Oszillatorwellenlänge eines in der Praxis verwendeten Halbleiterlasers angepaßt werden kann.

Außerdem benötigt es zuviel Zeit, die I-Typ-Schicht **82** herzustellen, da der epitaktische Aufwuchsprozeß, durch den die I-Typ-Schicht **82** in der PIN-Photodiode **80** hergestellt wird, selbst wenn die Dicke der I-Typ-Schicht **82** beispielsweise auf 20 µm beschränkt wird, ein schwieriger Prozeß ist. Dies bedeutet, daß die Produktionsrate bei der Herstellung von PIN-Photodioden **80** nur niedrig ist, wodurch die Kosten der PIN-Photodiode **80** steigen.

## Zusammenfassung der Erfindung

Demgemäß ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine PIN-Photodiode zur Verfügung zu stellen, die eine hohe Ansprechfrequenz aufweist, durch die es möglich ist, die Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge frei festzulegen.

Die vorstehende Aufgabe wird durch eine PIN-Photodiode mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung einer erfindungsgemäßen PIN-Photodiode ist die Dicke des hochohmigen Wafer vorzugsweise auf den Spitzenwert der Wellenlänge der zu empfangenden Lichtstrahlen abgestimmt.

Unter einem hochohmigen Wafer wird ein solcher mit hohem spezifischen Widerstand verstanden.

Andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen.

## Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Es zeigen:

Fig. 1(A) einen Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer PIN-Photodiode,

Fig. 1(B) eine Konzentrationsverteilung der Ladungsträger in der PIN-Photodiode gemäß Fig. 1(A),

Fig. 2 in einer Seitenansicht zweier Wafer eine erfindungsgemäße Vorgehensweise, durch die eine Verbindungsfläche zwischen der N- und der I-Typ-Schicht hergestellt wird,

Fig. 3 einen Ansprechfrequenzgang der PIN-Photodiode gemäß Fig. 1(A),

Fig. 4(A) einen Querschnitt durch eine erste bekannte PIN-Photodiode,

Fig. 4(B) eine Konzentrationsverteilung der Ladungsträger in der PIN-Photodiode gemäß Fig. 4 (A),

Fig. 5 in einer Seitenansicht zweier Wafer eine bekannte Vorgehensweise, durch die eine Übergangsfläche zwischen der N- und der I-Typ-Schicht hergestellt wird,

Fig. 6 einen Ansprechfrequenzgang der bekannten PIN-Photodiode gemäß Fig. 4(A),

Fig. 7(A) einen Querschnitt durch eine zweite bekannte PIN-Photodiode,

Fig. 7(B) eine Konzentrationsverteilung der Ladungsträger in der PIN-Photodiode gemäß Fig. 7(A),

Fig. 8 in einer Seitenansicht zweier Wafer eine andere be-

kannte Vorgehensweise, durch welche eine Übergangsfläche zwischen der N- und der I-Typ-Schicht hergestellt wird, und

Fig. 9 einen Ansprechfrequenzgang der zweiten bekannten PIN-Photodiode gemäß Fig. 7(A).

#### Ausführliche Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels

In Fig. 1(A) ist ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer PIN-Photodiode 1 gezeigt. Die PIN-Photodiode 1 ist im wesentlichen dadurch gebildet, daß eine I-Typ-Schicht 4 zwischen einer P-Typ-Schicht 2 und einer N-Typ-Schicht 3 angeordnet ist, wie insoweit aus dem Stand der Technik bekannt.

In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist eine Verbindungsfläche 5 zwischen der I-Typ-Schicht 4 und der N-Typ-Schicht 3 ausgebildet, indem, wie in Fig. 2 gezeigt, ein hochohmiger Wafer 4A, der als I-Typ-Schicht 4 vorgefertigt ist, mit einem stark angereichertem N-Typ-Wafer 3A, der als N-Typ-Schicht 3 vorgefertigt ist, verbunden oder zusammengefügt wird. Deshalb diffundieren keine N-Ladungsträger der N-Typ-Schicht 3 in die I-Typ-Schicht 4, wodurch ein stufenförmiger Konzentrationsverlauf B der N-Ladungsträger, wie in Fig. 1(B) gezeigt, erreicht wird, wobei die Stufe durch die Verbindungsfläche 5 gebildet wird, welche eine Grenzfläche darstellt. Erfindungsgemäß werden die beiden Wafer 3A und 4A z. B. dadurch miteinander verbunden, daß ihre betreffenden Oberflächen poliert, zusammengelegt und die zusammengelegten Wafer aufgeheizt werden, um an der Grenzfläche 5 eine Verbindung zu erhalten.

Somit reicht die Sperrschicht 6 der PIN-Photodiode 1 genau bis an die Verbindungsfläche 5 heran. Daher kann, wie in Fig. 3 gezeigt, eine hohe Ansprechgeschwindigkeit mit einem bis ungefähr 200 MHz oder sogar darüber hinaus reichenden Frequenzgang erhalten werden, ebenso gut wie bei bekannten PIN-Photodioden, in welcher die I-Typ-Schicht durch epitaktisches Aufwachsen gebildet ist.

Genaugenommen wird der hochohmige Wafer 4A niemals durch den stark angereicherten N-Typ-Wafer 3A beeinflusst, da sie laut dem vorliegenden Ausführungsbeispiel als vollständig unabhängige Körper ausgebildet sind. Die Konzentration der N-Ladungsträger in dem hochohmigen Wafer 4A ist niedriger als jene, die man im Stand der Technik gemäß Fig. 7 vorfindet. Dadurch ist es möglich, daß die Sperrschicht 6 viel näher an die Verbindungsfläche 5 heranreicht, was wiederum dazu führt, daß der Ansprechfrequenzgang F noch besser ist als bei jenem Stand der Technik, bei dem die I-Typ-Schicht durch epitaktisches Aufwachsen gebildet ist.

Betrachten wir nun, wie die Empfindlichkeit von der Wellenlänge abhängt. Wo das Maximum der spektralen Empfindlichkeit liegt, wird im wesentlichen durch die Dicke der I-Typ-Schicht 4 bestimmt. Die Dicke der I-Typ-Schicht 4 kann erfindungsgemäß frei festgelegt oder eingestellt werden, da der hochohmige Wafer 4A, der die I-Typ-Schicht 4 bildet, und der stark angereicherte N-Typ-Wafer 3A, der die N-Typ-Schicht 3 bildet, getrennt vorgefertigt und dann zusammengefügt werden.

Dadurch ist beispielsweise die Anpassung des Spitzenwertes der spektralen Empfindlichkeit für zu empfangendes Licht an die Oszillatorwellenlänge eines Halbleiterlasers oder dergleichen in der optischen Kommunikation verwendeten Übertrager, erheblich vereinfacht. Dadurch kann mit einem übertragenen optimalen Signal mit gegebener Stärke ein größeres Ausgangssignal erreicht werden, als dies durch den Stand der Technik möglich wäre.

Der Schutzfilm 7 in Fig. 1(A) wird zur Begrenzung einer Diffusionszone verwendet, wenn die P-Typ-Schicht 2 durch

Diffusion oder ähnliches hergestellt wird. Es sind eine Anode 8 aus Gold, Aluminium oder ähnlichem und eine Kathode 9 gleichfalls aus Gold, Aluminium oder ähnlichem gebildet. Zwischen der Anode 8 und der Kathode 9 erhält man ein Ausgangssignal.

Eine versuchsweise hergestellte PIN-Photodiode 1 hat folgende technische Daten: Sie ist so schnell, daß ihr Ansprechfrequenzgang F bis zu einer Grenzfrequenz von 249,3 MHz reicht und ihre Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge konnte exakt auf die Oszillatorwellenlänge eines typischerweise benutzten Halbleiterlasers eingestellt werden. Die Dimensionen des Chips waren  $1,5 \times 1,5 \times 0,3$  (Breite  $\times$  Länge  $\times$  Höhe in mm) und die Dicke der I-Typ-Schicht 4 betrug 40  $\mu\text{m}$ .

Wie oben beschrieben, handelt es sich bei der vorliegenden Erfindung um eine PIN-Photodiode mit einer P-Typ-Schicht, einer N-Typ-Schicht und einer I-Typ-Schicht, die zwischen der P- und der N-Typ-Schicht angeordnet ist, wobei zwischen der I-Typ-Schicht und der N-Typ-Schicht eine Verbindungsfläche dadurch gebildet ist, daß ein als I-Typ-Schicht vorgefertigter, hochohmiger Wafer mit einem als N-Typ-Schicht vorgefertigten, stark angereicherten N-Typ-Wafer verbunden ist.

Dadurch hat die vorliegende Erfindung den großen Vorteil, daß die Kosten der PIN-Photodiode, die einen hervorragenden Ansprechfrequenzgang aufweist, gesenkt werden können, da das zum Erzielen einer hohen Grenzfrequenz bisher angewendete und schwierig durchzuführende epitaktische Aufwachsen, das zu viel Zeit zur Bildung der I-Typ-Schicht benötigt und deshalb keine rationelle Fertigung der PIN-Photodioden erlaubt, nicht mehr angewendet werden muß.

Desweiteren können die Dicke der I-Typ-Schicht und des hochohmigen Wafers frei gewählt werden, weil der hochohmige Wafer und der stark angereicherte N-Typ-Wafer getrennt vorgefertigt werden, was es beispielsweise erlaubt, den Spitzenwert der spektralen Empfindlichkeit für zu empfangendes Licht auf die Oszillatorwellenlänge eines Halbleiterlasers, der für eine optische Übertragung verwendet werden soll, abzustimmen und dadurch mit zu übertragenden optischen Signalen mit gegebener Intensität eine größere Ausgangsleistung zu erreichen als bisher.

Durch die vorliegende Erfindung wird demnach nicht nur der Frequenzgang der PIN-Photodiode zu höheren Frequenzen hin ausgedehnt, sondern sie kann durch die Anpaßbarkeit der Lage des Maximums ihrer spektralen Empfindlichkeit auch leistungsfähiger betrieben werden; darin liegt ein besonderer Vorzug der Erfindung.

#### Patentansprüche

1. PIN-Photodiode mit einer P-Typ-Schicht (2), einer N-Typ-Schicht (3) und einer I-Typ-Schicht (4), die zwischen der P- und der N-Typ-Schicht angeordnet ist, in welcher zwischen der I-Typ-Schicht (4) und der N-Typ-Schicht (3) eine Verbindungsfläche (5) dadurch gebildet ist, daß als I-Typ-Schicht (4) ein vorgefertigter, hochohmiger Wafer mit einem vorgefertigten, stark angereicherten N-Typ-Wafer verbunden ist, welcher als N-Typ-Schicht (3) dient.
2. PIN-Photodiode nach Anspruch 1, in welcher die Dicke des hochohmigen Wafers (4) auf die gewünschte Lage des Spitzenwertes der spektralen Empfindlichkeit, d. i. die Empfindlichkeit abhängig von der Wellenlänge der zu empfangenden Lichtstrahlen, abgestimmt ist.
3. PIN-Photodiode nach Anspruch 1, in welcher die Dicke des hochohmigen Wafers (4) auf die Lage des

Spitzenwertes der Amplitude im Spektrum der zu empfangenden Lichtstrahlen abgestimmt ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG. 1(A)

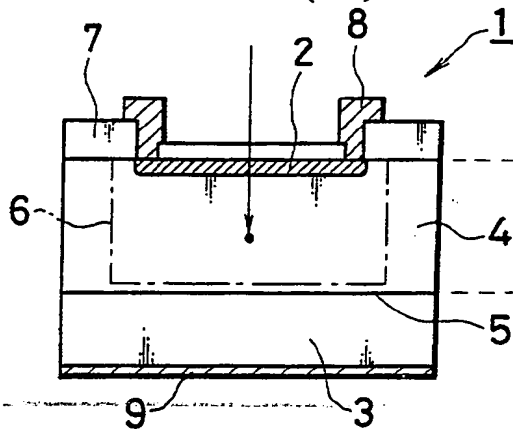


FIG. 1(B)

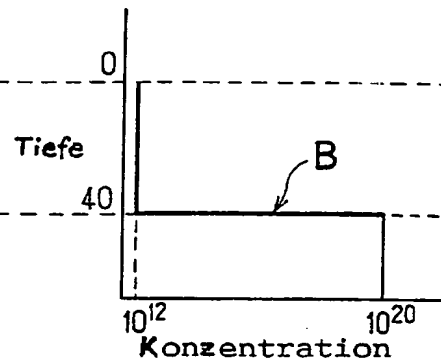


FIG. 2

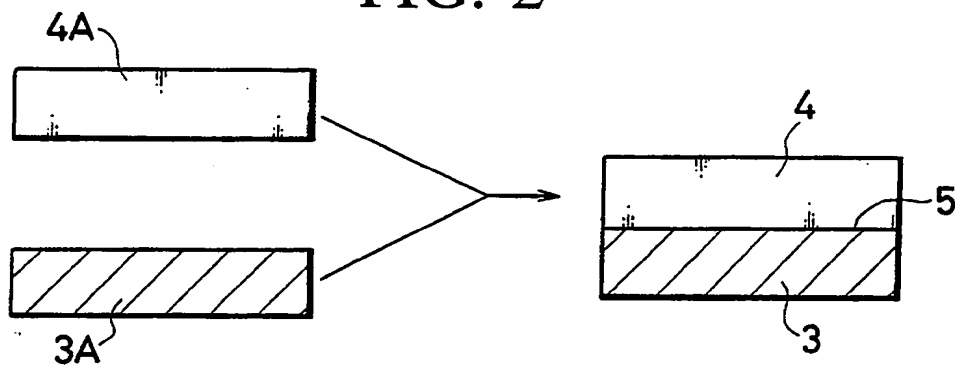


FIG. 3

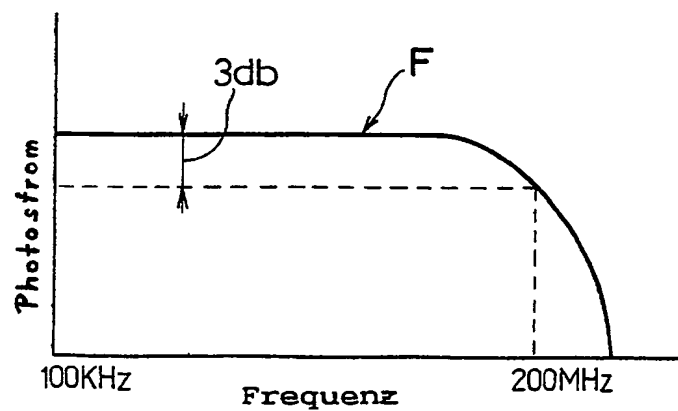


FIG. 4(A)

Stand der Technik

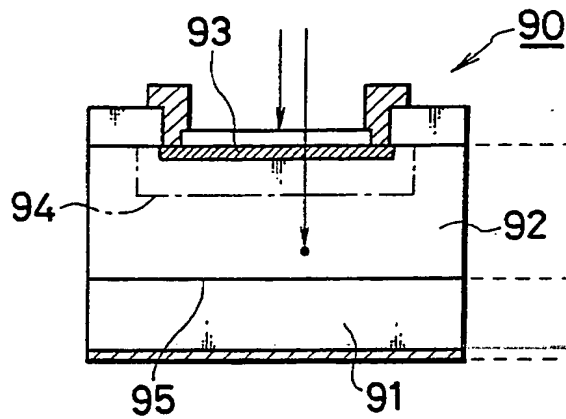


FIG. 4(B)

Stand der Technik

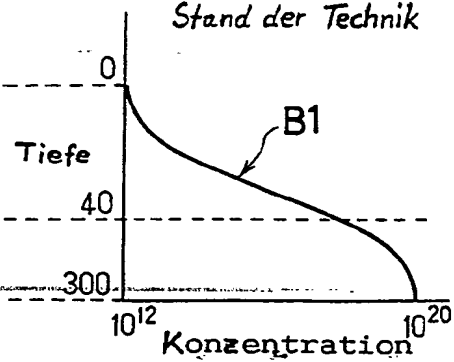


FIG. 5

Stand der Technik

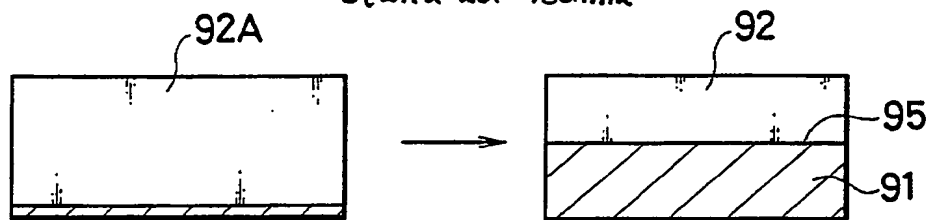


FIG. 6

Stand der Technik

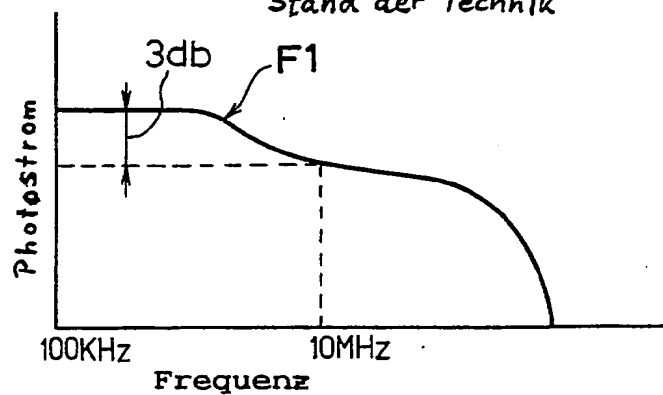


FIG. 7(A)

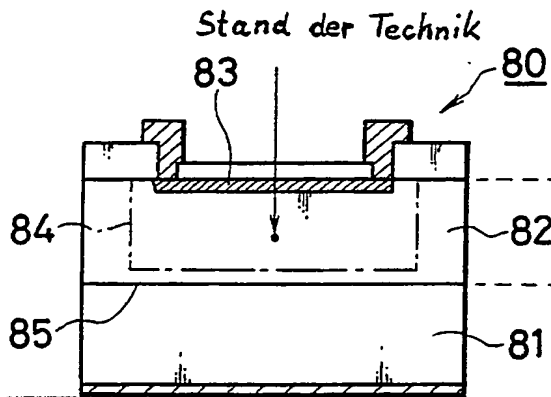


FIG. 7(B)

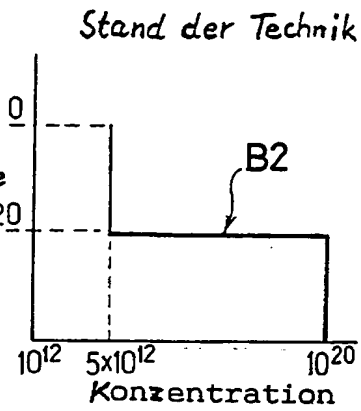


FIG. 8

Stand der Technik

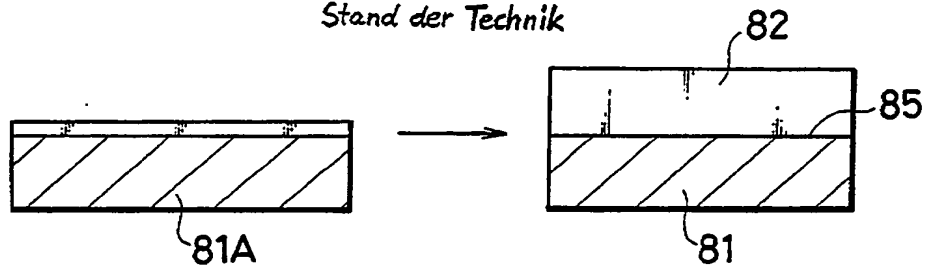


FIG. 9

Stand der Technik

